

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



#6

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 38 124.3

Anmeldetag: 04. August 2000

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG,
München/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nano-
röhre auf einem Substrat und elektronisches
Bauelement

IPC: B 82 B 3/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 06. September 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wehner

Beschreibung

Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat und elektronisches Bauelement

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat und ein elektronisches Bauelement.

- 10 Ein solches Verfahren sowie ein solches elektronisches Bauelement sind aus [1] bekannt.

Ferner sind aus [1] Kohlenstoff-Nanoröhren sowie Verfahren zu deren Herstellung bekannt [1]. Eine typische mehrwandige
15 Nanoröhre hat einen Durchmesser von mehreren 10 nm, wobei die Länge einer Nanoröhre mehrere Mikrometer betragen kann. Die Enden einer Nanoröhre sind typischerweise mit jeweils einem halben Fullerenmolekülteil gekappt, d.h. abgedeckt.

- 20 Eine Nanoröhre kann sowohl einwandig als auch mehrwandig sein. Bei mehrwandigen Nanoröhren ist mindestens eine innere Nanoröhre von einer äußeren Nanoröhre coaxial umgeben [1].

Je nach Chiralität weisen Nanoröhren entweder die
25 Eigenschaften eines Metalls oder die Eigenschaften eines Halbleiters auf. Diese Leitfähigkeit kann weiterhin durch Anlegen eines elektrischen Feldes (sogenannter Feldeffekt) [2] und/oder durch Dotieren der Kohlenstoffnanoröhre mit Bornitrid gesteuert werden, wie in [3] beschrieben. Im
30 letzteren Falle spricht man bei einer mit Boratomen und Stickstoffatomen dotierten Nanoröhre auch von einer Bor-Nitrid-Nanoröhre.

- Wegen der Eignung der Nanoröhre als metallische Leiter sowie
35 als Halbleiter ist es im Rahmen der Nanoschalttechnik wünschenswert, solche einwandigen und mehrwandigen Nanoröhren auf festen Substraten aufzubringen.

Bislang wurde dies dadurch erreicht, dass ein Substrat zum Beispiel durch Behandlung mit Trialkyl-substituierten Silazanverbindungen hydrophob gemacht wurde, und die
5 Nanoröhre anschließend aufgrund Van der Waalschen Kräfte darauf fixiert wurde [4].

Eine derartige Aufbringung führt jedoch zu der Möglichkeit, dass die Nanoröhre auf dem Substrat verrutschen kann. Dieses
10 Verrutschen beeinträchtigt sowohl den gewünschten vorgegebenen Aufbau als auch die langfristige Beständigkeit solcher mit Nanoröhren konstruierten Schaltkreise erheblich.

Es besteht also das Bedürfnis für eine Technik, durch die ein
15 stärkerer Kontakt zwischen mehrwandigen Nanoröhren und einem Substrat gewährleistet werden kann.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, mehrwandige Nanoröhren auf einem Substrat verglichen mit der Bindung aus
20 [4] stärker zu binden.

Das Problem wird durch ein Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat und ein elektronisches Bauelement mit den Merkmalen gemäß den
25 unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Bei einem Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat werden in einem ersten Schritt chemisch reaktive Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen
30 Nanoröhre erzeugt und in einem zweiten Schritt wird die chemisch so modifizierte mehrwandige Nanoröhre mit dem Substrat derart in Kontakt gebracht, dass zwischen den erzeugten chemisch reaktiven Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre und dem Substrat kovalente chemische
35 Bindungen entstehen.

Das Kohlenstoffgerüst der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre wird durch Erzeugung reaktiver Gruppen derivatisiert. Diese auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre erzeugten chemisch reaktiven Gruppen reagieren anschließend mit auf dem Substrat sich befindlichen Resten , die geeignet sind, mit den chemisch reaktiven Gruppen auf der äußeren Wand der Nanoröhre zu reagieren, sodass eine kovalente Bindung zwischen diesen entsteht.

10 Als Substrat können Materialien, die solche chemisch reaktive Gruppen aufweisen, verwendet werden. Zum Beispiel weisen Substrate auf Siliziumbasis, zum Beispiel Glas (SiO_2), Hydroxylgruppen auf. Alternativ kann als Substrat ein Material, das solche chemisch reaktive Gruppen nicht aufweist, mit einem weiteren Material beschichtet werden, das
15 solche chemisch reaktiven Gruppen aufweist. Bei dem Substrat sind als chemisch reaktive Gruppen Nukleophile besonders bevorzugt.

20 Als Derivatisierung der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre ist beispielsweise die Oxidation einer großen Zahl sich in dieser Wand befindlichen Kohlenstoffatomen zur Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen besonders geeignet.

25 Eine solche Oxidation bringt insbesondere zwei Vorteile mit sich.

Einerseits ermöglicht eine solche Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen wie oben beschrieben die kovalente Bindung
30 der mehrwandigen Nanoröhre auf dem Substrat.

Andererseits führt die weitgehende Oxidation der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre einen elektrisch isolierenden Effekt herbei, sodass die äußere Wand der mehrwandigen
35 Nanoröhre ihre Eigenschaft, den elektrischen Strom zu leiten, verliert.

Dahingegen übernimmt eine der inneren Nanoröhren der mehrwandigen Nanoröhre die Eigenschaft, den elektrischen Strom zu leiten, weil diese zumindest eine innere Nanoröhre der mehrwandigen Nanoröhre durch die äußere Wand der
5 mehrwandigen Nanoröhre von der chemischen Oxidation geschützt wird.

Eine solches Beibehalten der Leitfähigkeit der zumindest einen inneren Nanoröhre unter Verlust der Leitfähigkeit der
10 äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre ist im Hinblick auf die Konstruktion von Nanoschaltkreisen besonders vorteilhaft, denn eine solche äußere elektrische Isolierung ermöglicht den kreuzweisen Aufbau von solchen Nanoschaltkreisen, ohne dass es zu einem elektrischen Kurzschluss zwischen den sich
15 kreuzenden Nanoröhren kommt.

Es ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass bei der gezielten chemischen Veränderung der äußeren Wand einer mehrwandigen Nanoröhren die elektrische Leitung durch die
20 mehrwandige Nanoröhre automatisch von der nächstinneren Nanoröhre übernommen wird.

Die mehrwandige Nanoröhre kann beispielsweise eine mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhre oder eine mit Bornitrid
25 dotierte mehrwandige Nanoröhre sein.

Ferner kann vor dem Schritt des Inkontaktbringens mit dem Substrat die chemisch so modifizierte mehrwandige Nanoröhre durch Filtration allein oder durch Ausfällung und Filtration
30 abgetrennt werden.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass nach dem Schritt des Abtrennens aber vor dem Schritt des Inkontaktbringens die chemisch so modifizierte mehrwandige
35 Nanoröhre in einem geeigneten Medium dispergiert wird.

Ferner kann die Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre mittels einer Oxidation der äußeren Wand erfolgen, wobei gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung die Oxidation durch Umsetzung mit einer starken oxidierenden Säure erfolgt.

Als starke oxidierende Säure kann Salpetersäure, Schwefelsäure, Chromsäure, Carosche Säure, Perchlorsäure, Jodsäure oder organischen Persäuren verwendet werden.

Weiterhin kann die Schwefelsäure als eine Mischung mit Wasserstoffperoxid eingesetzt werden.

Die Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre kann bei Raumtemperatur oder bis zur Siedetemperatur erfolgen.

Weiterhin ist es gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass das Substrat chemisch reaktive Gruppen aufweist, die imstande sind, mit den chemisch reaktiven, auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre erzeugten Gruppen eine kovalente Bindung einzugehen.

Die chemisch reaktiven Gruppen auf dem Substrat können Nukleophile, beispielsweise Hydroxylgruppen sein.

Die auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre erzeugten Gruppen können Carboxylfunktionen sein.

Vor dem Inkontaktbringen können die Carboxylgruppen mit einem Reagenz zur Begünstigung der kovalenten Bindung behandelt werden, wobei als Halogenierungsreagenz im Falle der Säurechloridbildung SOCl_2 , COCl_2 , PCl_3 , PCl_5 , CCl_4 und Ph_3P , PhCOCl , ClCOCOCl oder Cl_2CHOMe , und als Kupplungsreagenz bei direktem Umsatz von Säure- und Hydroxylgruppen Carbodiimide oder Mineralsäuren verwendet werden können.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass für den Fall, dass Thionylchlorid als Halogenierungsreagenz zur Aktivierung der auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre erzeugten Carboxylgruppen verwendet wird, eine Base zusätzlich verwendet wird, um die bei der Reaktion zwischen dem Säurechlorid auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre und den Hydroxylgruppen auf dem Substrat entstehende Chlorwasserstoffsäure zu neutralisieren.

Als Base zur Neutralisation wird gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung bevorzugt eine nicht nukleophile Base verwendet, vorzugsweise ein alkylsubstituiertes Amin wie beispielsweise Triethylamin oder Diisopropylamin, oder Imidazol, Pyridin oder eine Mischung aus Kalium-tert-Butoxid und tert-Butanol.

Ein elektronisches Bauelement weist ein Substrat auf sowie auf dem Substrat kovalent gebundenen mehrwandige Nanoröhren.

Die kovalente Bindung zwischen den mehrwandigen Nanoröhren und dem Substrat kann gemäß dem oben beschriebenen Verfahren gebildet werden.

Zusätzliche Merkmale der Erfindung werden nachfolgend anhand der Ausführungsformen mit Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

Es zeigen

Figur 1 eine schematische Darstellung des Derivatisierens und des Aufbringens der mehrwandigen Nanoröhre auf dem Substrat gemäß einer Ausführungsform der Erfindung und

Figur 2 eine schematische vergrößerte Darstellung einer mit Carboxylgruppen derivatisierten mehrwandigen Nanoröhre mit kovalenten Bindungen mit dem Substrat.

5

Fig.1a zeigt eine mehrwandige Nanoröhre 100 in einem Behälter 103, der ein Medium 110 enthält, vor der Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100.

10

Fig.1b zeigt die Nanoröhre 100 mit chemisch reaktiven Gruppen 102, die durch eine kovalente Bindung 101 auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100 erzeugt worden sind.

15

Eine solche Derivatisierung der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100 erfolgt gemäß diesem Ausführungsbeispiel durch Umsetzung mit starker oxidierender Säure.

20

Bevorzugt zu diesem Zweck ist beispielsweise die Verwendung von konzentrierter Salpetersäure (bis zu 100 Gewichtsprozent), Chromsäure, Carosche Säure, Schwefelsäure, bzw. Gemische aus Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid, Perchlorsäure, Jodsäuren oder organischen Persäuren.

25

Die Umsetzung kann bei Raumtemperatur oder bei einer Temperatur bis zur Siedehitze der jeweiligen säurehaltigen Medium erfolgen. Durch die Behandlung mit starker oxidierender Säure in wässriger Umgebung werden Kohlenstoffatome auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre in die entsprechenden Carbonsäurereste umgewandelt.

35

Nach der Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen 102 auf der Oberfläche der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100 können die chemisch so modifizierten Nanoröhren 100 wahlweise durch Filtration allein oder durch aufeinanderfolgende Ausfällung und Filtration von dem säurehaltigen Medium 110 abgetrennt werden.

Die abgetrennten derivatisierten Nanoröhren 100 können dann wahlweise gewaschen und dann in einem zweiten Medium 104 dispergiert werden oder ohne erstmals gewaschen zu werden, direkt nach dem Abtrennen in einem zweiten Medium 104 dispergiert werden, wie in **Fig.1c** dargestellt.

Das Ergebnis des Dispergierens der chemisch so modifizierten Nanoröhre 100 ist in **Fig.1c** gezeigt.

10

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann die in **Fig.1c** in dem Medium 104 dispergierte mehrwandige Nanoröhre 100 mit einem weiteren Reagenz umgesetzt werden, um die auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100 erzeugten chemisch reaktiven Gruppen 102 gegenüber Reaktion mit einem Nukleophil durch weitere Derivatisierung zu aktivieren. Auf diese Weise wird die spätere Bildung einer kovalenten Bindung mit den vorzugsweise nukleophilen Gruppen auf dem Substrat begünstigt.

20

Für den Fall, dass die auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100 erzeugten Gruppen 102 Carboxylgruppen sind, kann eine solche Aktivierung durch Zugabe eines bekannten Halogenierungsreagenzes wie beispielsweise SOCl_2 , oder für den Fall des direkten Umsatzes der Carboxylgruppen mit Hydroxylgruppen des Substrats eines bekannten Kupplungsreagenzes wie beispielsweise Carbonyldiimidazol, Dicyclohexylcarbodiimid oder Mineralsäuren erfolgen. Alternativ zu SOCl_2 , für die Konvertierung zum entsprechenden Säurechlorid kann auch COCl_2 , PCl_3 , PCl_5 , $(\text{CCl}_4 \text{ und } \text{Ph}_3\text{P})$, PhCOCl , ClCOCOCl oder Cl_2CHOMe verwendet werden.

30

Fig.1d zeigt den Fall, bei dem ein Substrat 106 in einem Substratgehäuse 105 nicht aus einem Material besteht, das chemisch reaktive Gruppen aufweist.

35

In diesem Fall werden die chemisch reaktiven Gruppen 107 zunächst auf dem Substrat mittels bekannter Verfahren beispielsweise durch Beschichtung mit einem Material, das chemisch reaktiver Gruppen aufweist, aufgebracht.

5

Fig.1e zeigt das Substrat 106 in dem Substratgehäuse 105, bei dem das Substratmaterial entweder bereits chemisch reaktive Gruppen 107 aufweist oder bei dem solche chemisch reaktive Gruppen 107 über die kovalente Bindung 108 auf die Oberfläche des Substrats 106 aufgebracht worden sind.

10

In jedem Fall ist die Oberfläche des Substrats 106 vorzugsweise hydrophil, so dass eine gute Haftung der ebenfalls durch die Derivatisierung hydrophil gemachten mehrwandigen Nanoröhre 100 gewährleistet ist.

15

Fig.1f zeigt das Inkontaktbringen des die derivatisierten mehrwandigen Nanoröhren 100 enthaltenden Mediums 104 mit dem Substrat 106. Für den Fall, dass Thionylchlorid oder ein anderes halogenierendes Reagenz bei dem in **Fig.1c** dargestellten Schritt zur Aktivierung der auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 100 erzeugten Carboxylgruppen verwendet wurde, kann eine zusätzliche Base bei dem in **Fig.1f** dargestellten Schritt zugesetzt werden.

20

25

Eine solche Base dient der Neutralisation der Chlorwasserstoffsäure, die bei der Reaktion zwischen den Säurechloridfunktionen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre und den Hydroxylgruppen auf dem Substrat entsteht.

30

Somit wird während der Bildung der kovalenten Bindung 109 zwischen der Nanoröhre 100 und dem Substrat 106, bei der Säure entsteht, verhindert, dass die Gegenreaktion, nämlich die saure Hydrolyse der gebildeten Estergruppe zwischen der Nanoröhre 100 und dem Substrat 106, stattfindet.

35

Für diesen Zweck werden möglichst nicht nukleophile Basen, beispielsweise alkylsubstituierte Amine wie beispielsweise Triethylamin oder Diisopropylamin, oder alternativ Imidazol, Pyridin oder eine Mischung aus Kalium-*tert*-Butoxid und *tert*-Butanol verwendet.

Fig.1g zeigt die kovalente Bindung 109 zwischen der derivatisierten mehrwandigen Nanoröhre 100 und dem Substrat 106.

Die auf diese Weise auf dem Substrat 106 gebundene mehrwandige Nanoröhre 100 bleibt daher rutschfest auf der Oberfläche des Substrats 106. Diese Rutschfestigkeit ermöglicht eine bislang unerzielte Beständigkeit im Aufbau von Nanoschaltkreisen.

Fig.2 zeigt eine schematisierte vergrößerte Darstellung einer mit Carboxylgruppen 203 derivatisierten Nanoröhre 201 beim Inkontaktkommen mit Hydroxylgruppen 204 auf der Oberfläche des Substrats 202.

Bei dieser Ausführungsform sind die Carboxylgruppen 203 der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre 201 nicht mit einem Halogenierungsreagenz modifiziert worden.

Die Bereiche, in denen das Bilden einer Esterbindung zwischen der mehrwandigen Nanoröhre und dem Substrat stattfindet, sind durch Ellipsen 205 hervorgehoben.

In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] P.M. Ajayan, Nanotubes from Carbon, Chem. Rev. 99,
S. 1787 - 1799, 1999

5

[2] W. Han et al, Synthesis of Boron Nitride Nanotubes From
Carbon Nanotubes by a substitution Reaction, Applied
Physics Letters, Volume 73, Number 21, S. 3085 - 3087,
November 1998

10

[3] R. Martel et al, Single- and Multi-Wall Carbon Nanotube
Field-Effect Transistors, Applied Physics Letters,
Volume 73, Number 17, S. 2447 - 2449, October 1998

15

[4] G.S. Duesberg, W.J. Blau et al., Chemical Physics
Letters 310(1999) 8-14

Patentansprüche

1. Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat, aufweisend folgende Schritte:

- 5 • Erzeugen chemisch reaktiver Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre;
- Inkontaktbringen der chemisch so modifizierten mehrwandigen Nanoröhre mit dem Substrat derart, dass zwischen den erzeugten chemisch reaktiven Gruppen auf
10 der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre und dem Substrat kovalente chemische Bindungen entstehen.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1,
bei dem die mehrwandige Nanoröhre eine mehrwandige
15 Kohlenstoffnanoröhre oder eine mit Bornitrid dotierte mehrwandige Nanoröhre ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2,
bei dem vor dem Schritt des Inkontaktbringens mit dem
20 Substrat die chemisch so modifizierte mehrwandige Nanoröhre durch Filtration allein oder durch Ausfällung und Filtration abgetrennt wird.

4. Verfahren gemäß Anspruch 3,
25 bei dem nach dem Schritt des Abtrennens aber vor dem Schritt des Inkontaktbringens die chemisch so modifizierte mehrwandige Nanoröhre in einem geeigneten Medium dispergiert wird.

30 5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem das Aufbringen chemisch reaktiver Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre mittels einer Oxidation der äußeren Wand erfolgt.

35 6. Verfahren gemäß Anspruch 5,
bei dem die Oxidation durch Umsetzung mit einer starken Säure erfolgt.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6,
bei dem als starke oxidierende Säure Salpetersäure,
Schwefelsäure, Chromsäure, Carosche Säure, Perchlorsäure,
5 Jodsäure oder organischen Persäuren verwendet werden.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7,
bei dem die Schwefelsäure als eine Mischung mit
Wasserstoffperoxid eingesetzt wird.

10

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 8,
bei dem die Erzeugung chemisch reaktiver Gruppen auf der
äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre bei Raumtemperatur
oder bis zur Siedetemperatur erfolgt.

15

10. Verfahren gemäß Anspruch 1 bis 9,
bei dem das Substrat chemisch reaktive Gruppen aufweist, die
imstande sind, mit den chemisch reaktiven, auf der äußeren
Wand der mehrwandigen Nanoröhre aufgebracht Gruppen eine
20 kovalente Bindung einzugehen.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10,
bei dem die chemisch reaktiven Gruppen auf dem Substrat
Nukleophile sind.

25

12. Verfahren gemäß Anspruch 11,
bei dem die Nukleophile Hydroxylgruppen sind.

13. Verfahren gemäß Anspruch 10,
30 bei dem die auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre
erzeugten Gruppen Carboxylgruppen sind.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13,
bei dem vor dem Inkontaktbringen die Carboxylgruppen mit
35 einem Halogenierungsreagenz zur Säurechloridbildung zur
Begünstigung des Bildens der kovalenten Bindung behandelt
werden oder die Carboxylgruppen mittels Kupplungsreagenzien

direkt mit Hydroxylgruppen des Substrats zur Reaktion gebracht werden.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14,
5 bei dem als Halogenierungsreagenz SOCl_2 , COCl_2 , PCl_3 , PCl_5 , CCl_4 und Ph_3P , PhCOCl , ClCOCOCl oder Cl_2CHOMe , und als Kupplungsreagenz Carbodiimide oder Mineralsäuren verwendet wird.
- 10 16. Verfahren gemäß Anspruch 15,
bei dem, für den Fall, dass SOCl_2 , COCl_2 , PCl_3 , PCl_5 , CCl_4 und Ph_3P , PhCOCl , ClCOCOCl oder Cl_2CHOMe als Halogenierungsreagenz zur Aktivierung der auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre erzeugten Carboxylgruppen
15 verwendet wird, eine Base zusätzlich verwendet wird, um die bei der Reaktion zwischen den dadurch entstandenen Säurechloridgruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre und den Hydroxylgruppen auf dem Substrat entstehende Chlorwasserstoffsäure zu neutralisieren.
- 20 17. Verfahren gemäß Anspruch 16, bei dem als die zum Neutralisieren verwendete Base eine nicht nukleophile Base verwendet wird.
- 25 18. Verfahren gemäß Anspruch 17, bei dem als die nicht nukleophile Base ein alkylsubstituiertes Amin verwendet wird.
- 30 19. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem das alkylsubstituierte Amin Triethylamin oder Diisopropylamin ist.
- 35 20. Verfahren gemäß Anspruch 17, bei dem als nicht nukleophile Base Imidazol, Pyridin oder eine Mischung aus Kalium-tert-Butoxid und tert-Butanol verwendet wird.

21. Elektronisches Bauelement mit einem Substrat und auf dem Substrat kovalent gebundenen mehrwandigen Nanoröhren.

22. Elektronisches Bauelement gemäß Anspruch 13,
5 bei dem die kovalente Bindung zwischen den mehrwandigen Nanoröhren und dem Substrat gemäß dem Verfahren eines der Ansprüche 1 bis 12 gebildet wird.

Zusammenfassung

Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat und elektronisches Bauelement

5

Ein Verfahren zum Binden einer mehrwandigen Nanoröhre auf einem Substrat, weist folgende Schritte auf:

- Erzeugen chemisch reaktiver Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre;
- 10 • Inkontaktbringen der chemisch so modifizierten mehrwandigen Nanoröhre mit dem Substrat derart, dass zwischen den erzeugten chemisch reaktiven Gruppen auf der äußeren Wand der mehrwandigen Nanoröhre und dem Substrat kovalente chemische Bindungen entstehen.

15

Sign. Figur 2

Bezugszeichenliste

- 100 Mehrwandige Nanoröhre
- 101 Kovalente Bindung
- 102 Auf der mehrwandigen Nanoröhre aufgebrachte chemisch
reaktive Gruppe
- 103 Behälter
- 104 Zweites Medium
- 105 Substratgehäuse
- 106 Substrat
- 107 Chemisch reaktive Substratgruppe
- 108 Kovalente Bindung
- 109 Kovalente Bindung zwischen der mehrwandigen Nanoröhre und
dem Substrat
- 110 Erstes Medium

- 201 Mehrwandige Nanoröhre
- 202 Substrat
- 203 Auf der mehrwandigen Nanoröhre aufgebrachte
Carboxylgruppe
- 204 Substrathydroxylgruppe
- 205 Veresterungsbereich

FIG 1A

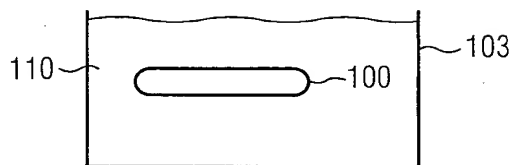


FIG 1B

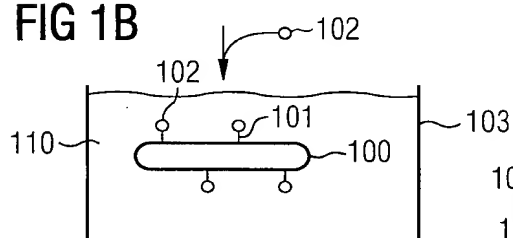


FIG 1D

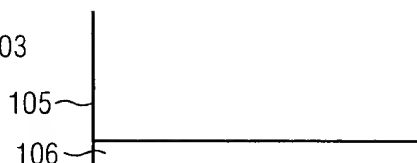


FIG 1C

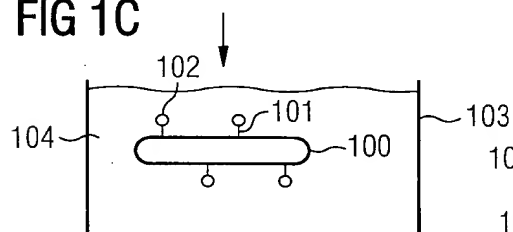


FIG 1E

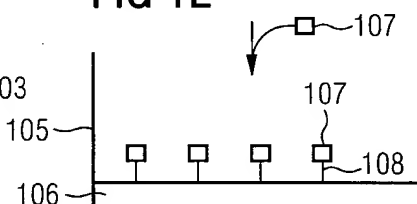


FIG 1F

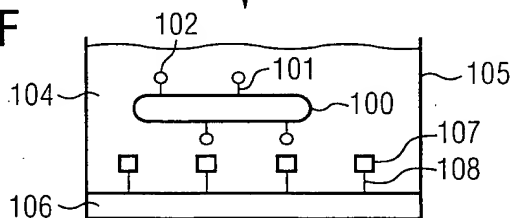


FIG 1G

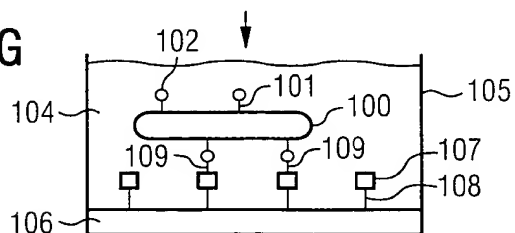


FIG 2

